



Foreign Patents & Scientific Literature Branch  
Examiner Document Request Form FY 2001

Last Name: Meller First Name \_\_\_\_\_

Date Assigned: 03-19-2001

TechCenter 1051 Date Completed: 03-19-2001

Phone: 308-4230

Case Number: \_\_\_\_\_

634914  
21

Country <u>Bel</u>	Patent No. _____	Pages <u>21</u>	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____
Country _____	Patent No. _____	Pages _____	Tech Center _____

OFFICIAL USE ONLY

BH ☐ ES ☐ JB ☐ BK ☐ MC ☐ NB ☒ GP ☐ GB ☐ GO ☐

ROYAUME DE BELGIQUE 654914

N° 654.914



Classification internationale :

Brevet mis en lecture le :

15-2-1965

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES  
ET DE L'ÉNERGIE

# BREVET D'INVENTION

SCIENTIFIC LIBRARY

APR 14 1965

Le Ministre des Affaires Economiques et de l'Energie,

*Vu la loi du 24 mai 1854 sur les brevets d'invention ;*

*Vu la Convention d'Union pour la Protection de la Propriété Industrielle ;*

*Vu le procès-verbal dressé le 27 octobre 1964 à 15 h. 50*

au Service de la Propriété Industrielle ;

U. S. PATENT OFFICE

## ARRÊTE :

Article 1. — Il est délivré à la Sté dite: WESTERN ELECTRIC COMPANY  
INCORPORATED,

195 Broadway, New York 7, N.Y. (Etats-Unis d'Amérique),  
repr. par les Bureaux Vander Haeghen à Bruxelles,

un brevet d'invention pour : Transducteurs piézoélectriques ultrasoniques,  
qu'elle déclare avoir fait l'objet de demandes de brevet  
déposées aux Etats-Unis d'Amérique le 31 octobre 1963 et le  
6 août 1964 au nom de Mr N.F. Foster dont elle est l'ayant  
droit.

Article 2. — Ce brevet lui est délivré sans examen préalable, à ses risques et  
périls, sans garantie soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit  
de l'exactitude de la description, et sans préjudice du droit des tiers.

Au présent arrêté demeurera joint un des doubles de la spécification de l'invention  
(mémoire descriptif et éventuellement dessins) signés par l'intéressé et déposés à l'appui  
de sa demande de brevet.

Bruxelles, le 13 novembre 1964

PAR DÉLÉGATION SPÉCIALE :

Le Directeur Général,

654811

N.F. FOSTER 1/2-(UKA)

B.38.037

TO

## DESCRIPTION

J into a une demande de

## BREVET BELGE

déposée par la société dite:

WESTERN ELECTRIC COMPANY INCORPORATED

ayant pour objet : Transducteurs piézoélectriques ultrasoniques.

---

Qualification proposée : BREVET D'INVENTION

Priorité d'une demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le 31 octobre 1963 sous le n° 320.379 au nom de Norman Francis FOSTER et d'une demande de brevet déposée aux Etats-Unis d'Amérique le 6 août 1964 sous le n° 327.837, au nom de Norman Francis FOSTER.

B. 38.037

Pt - AM

La présente invention concerne des transducteurs piézo-électriques à utiliser avec des lignes à retard ultrasoniques. Plus particulièrement, elle concerne des transducteurs fabriqués à partir de matières semi-conductrices piézoélectriques de grande résistance spécifique, et elle concerne également le procédé de fabrication de tels transducteurs.

On a prêté une attention considérable ces derniers temps aux propriétés piézoélectriques latentes des matières semi-conductrices. Ces matières comprennent des composés semi-conducteurs "hexagonaux" des groupes II-VI, tels que le sulfure de cadmium et l'oxyde de zinc. Pour que ces propriétés latentes puissent se manifester, il faut commander de façon particulière au moins trois paramètres différents des matières. Ces paramètres comprennent les dimensions des cristaux de la matière, l'orientation de l'axe piézoélectrique de chaque cristal aussi bien en ce qui concerne l'alignement de cet axe avec celui d'autres cristaux qu'en ce qui concerne la vibration nécessaire pour le mode de fonctionnement ultrasonique que l'on désire et, enfin, la résistance spécifique ou résistivité de la matière qui doit être assez grande pour que le champ piézoélectrique ne soit pas éliminé. Ces paramètres ne se présentent pas naturellement dans la combinaison convenable pour produire un phénomène piézoélectrique sensible, ce qui explique pourquoi les propriétés piézoélectriques de ces matières n'ont été observées que récemment.

Des couches de matière semi-conductrice convenables pour des transducteurs ont été produites antérieurement en déterminant les paramètres cristallographiques de la couche par les

propriétés cristallographiques d'un substrat sur lequel ou à partir duquel la couche est formée. La résistivité de la couche se détermine en commandant sa teneur en impuretés au cours de sa formation. Alors que des transducteurs formés de cette façon semblent avoir des possibilités à des fréquences modérément élevées, la présence du substrat devient un inconvénient à des fréquences supérieures à 100 mégacycles. Comme ce substrat était choisi pour sa compatibilité cristallographique avec la matière du transducteur, il y a peu de chances qu'il présente des propriétés cristallographiques optimales. En outre, à ces fréquences élevées, tant la résistivité du substrat que le lien nécessaire pour le fixer à un agent à retard associé deviennent désavantageux.

Par conséquent, l'un des buts de la présente invention est d'améliorer les transducteurs piézoélectriques semi-conducteurs à propriétés ultrasoniques.

Un autre but plus spécifique de la présente invention est de former une couche de matière semi-conductrice à grande résistivité, orientée, de cristaux modérément grands, sur un agent à retard ultrasonique ayant toutes propriétés acoustiques souhaitées prédéterminées.

Suivant l'invention, on a découvert qu'une couche produite par des techniques de dépôt en phase vapeur sur un substrat métallique mince peut présenter une activité piézoélectrique si l'on maintient des conditions particulières pendant le processus de dépôt et si l'on suit des procédés de traitement particuliers après que la couche ait été formée. En particulier, on a reconnu qu lorsqu'une matière telle que le sulfure de cadmium est déposée en phase vapeur sur un substrat métallique qui a été chauffé et maintenu chaud pendant le dépôt, le sulfure de cadmium tend à se déposer sur le substrat chaud à l'état



cristallin, avec des cristaux de dimensions modérées, les "axes hexagonaux" de la majorité de ces cristaux s'alignant avec la direction suivant laquelle la matière déposée arrive au substrat. Cette matière cristalline, cependant, a une résistivité trop faible pour maintenir un champ piézoélectrique convenable. Suivant l'invention, la résistivité de la couche semi-conductrice se trouve augmentée en procédant au dopage pendant le procédé de dépôt en phase vapeur, à la diffusion après dépôt en phase vapeur ou à l'addition, pratiquée d'autre façon, d'une matière du type qui, lorsqu'elle est introduite dans la couche, lui ajoute des impuretés tendant à emprisonner ou à compenser les porteurs de courant de la matière sans introduire par elle-même d'autres porteurs de courant. Suivant un aspect spécifique de l'invention, on augmente la résistivité en formant près de la couche semi-conductrice une couche de matière conductrice du type compensateur, soit pour constituer le substrat, soit pour constituer un placage sur la couche ou pour réaliser ces deux conditions ou en ajoutant cette matière compensatrice au moment où se forme le dépôt. Ainsi, lorsque la couche semi-conductrice et la matière compensatrice sont chauffées ensemble, une partie de la matière conductrice diffusera dans la couche semi-conductrice et élèvera sa résistivité jusqu'à atteindre la valeur désirée. L'or, le cuivre ou l'argent conviennent comme matières conductrices dans ce but.

Un autre aspect de l'invention consiste dans les façons dont on commande l'orientation des axes piézoélectriques des cristaux pour régler la distribution du mode de vibration caractéristique du transducteur entre les composantes du mode correspondant au cisaillement et aux vibrations longitudinales. En général, on a trouvé qu'en dehors de sa dépendance par rapport à la direction d'arrivée de la matière déposée, l'orienta-

tion dépend de la matière du substrat et de la nature du traitement thermique subséquent. On produit une vibration de mode surtout longitudinale par dépôt lent en phase vapeur dans une direction sensiblement normale à un substrat d'or chaud. Une combinaison de la vibration dans le mode longitudinal et dans le mode de cisaillement se produit par dépôt en phase vapeur sur un substrat de cuivre chaud, suivie d'un traitement thermique. Dans ce cas, le traitement thermique a pour effet de provoquer l'orientation des axes piézoélectriques des cristaux sur le substrat de cuivre pour les incliner par rapport à la position initiale d'une quantité qui dépend de l'intensité du traitement thermique. Ainsi, aussi bien la vibration ultrasonique de mode longitudinal produite par la composante de l'axe perpendiculaire au substrat et le mode de cisaillement produit par la composante parallèle au substrat se trouvent produits simultanément. Enfin, une vibration dans le mode de cisaillement prédominant est produite par un dépôt en phase vapeur relativement plus rapide, sous un angle aigu par rapport à un substrat d'argent relativement plus froid. L'inclinaison finale de l'axe piézoélectrique produit une composante importante dans le mode de cisaillement.

Suivant un autre aspect de l'invention, la composante résiduelle de l'un ou de l'autre de ces modes peut être supprimée en constituant le transducteur sur un agent à retard anisotrope orienté de telle façon que les vibrations dans le mode désiré se propagent en suivant l'agent à retard, tandis que les modes indésirables sont déviés vers les limites de l'agent où ils se trouvent diffusés ou absorbés.

Ces buts de l'invention, ces aspects et autres, sa nature et les divers avantages qui en résultent apparaîtront plus clairement en considérant la description donnée ci-après à

titre d'exemple de formes de réalisation destinées à l'illustrer, en s'aidant des dessins joints au présent mémoire.

Aux dessins :

- Figures 1A et 1B sont des vues en coupe transversale de transducteurs à ondes longitudinales et à onde de cisaillement, respectivement, utilisant des couches, en phase vapeur, de matière piézoélectrique à haute résistivité suivant l'invention.

- Figure 2 représente le transducteur de la figure 1 en combinaison avec un filtre de mode, suivant l'invention, pour produire une vibration ultrasonique longitudinale pure, et

- Figure 3 représente le transducteur de la figure 1 en combinaison avec un filtre de mode suivant l'invention pour produire une vibration ultrasonique transversale pure.

Plus particulièrement, Figure 1A représente l'extrémité d'une ligne à retard typique 15 dans laquelle on désire lancer des vibrations ultrasoniques dans le mode longitudinal se propageant dans une direction parallèle à son axe 14. La ligne 15 peut être constituée de quartz, de verre ou d'un métal tel que l'aluminium et elle peut avoir une forme et des dimensions transversales quelconques. Une première couche ou pellicule 10 est convenablement plaquée, déposée ou appliquée d'autre façon par des techniques connues sur une face d'extrémité de la ligne 15 qui est sensiblement normale à l'axe 14. La couche 10 peut être constituée d'une matière conductrice choisie dans le groupe qui comprend l'or, l'argent et le cuivre, ces matières étant des matières connues pour retenir les porteurs de courant dans des matières comme le sulfure de cadmium. Cependant, pour engendrer des vibrations dans le mode longitudinal, il semble préférable que la couche 10 soit formée d'or pour des raisons qui seront



exposées dans la suite. Suivant la matière de la ligne 15, un flux connu tel que le nichrome peut être compris entre la couche 10 et la matière de la ligne 15 pour en faciliter la liaison. La couche 11 représente la matière piézoélectrique semi-conductrice formée suivant le processus de dépôt en phase vapeur décrit ci-après avec emplacement de la source génératrice de vapeur à distance du substrat 10 dans une direction représentée par la flèche 16 normale à la surface de la couche 10. La couche 12 représente une seconde couche conductrice appliquée par dessus la couche 11 et elle constitue l'autre électrode du transducteur au moyen duquel un champ électrique est établi dans la couche 11 en réponse à des signaux de courant alternatif provenant de la source 13, appliqués entre les couches 10 et 12.

Suivant l'invention, on forme la couche 10 par la technique de dépôt en phase vapeur particulière que l'on décrira à présent. Pour simplifier la description, on se reportera d'abord spécifiquement à la fabrication d'un transducteur travaillant dans le mode longitudinal, comme montré à la figure 1A, en utilisant du sulfure de cadmium hexagonal comme matière semi-conductrice préférée, étant entendu que des composés semblables pourraient être traités de manières voisines. Par exemple, d'autres matières ayant des propriétés semi-conductrices piézo-électriques des groupes II-VI et ayant une structure hexagonale ou de wurtzite peuvent être utilisées pour mettre l'invention en pratique. Des exemples spécifiques de cette catégorie comprennent l'oxyde de zinc, le sélénure de cadmium, le sulfure de zinc et le tellure de magnésium. En plus, des matières cubiques des groupes II-VI, telles que le sulfure de zinc - (blende de zinc), le sulfure de cadmium cubique et l'oxyde de zinc cubique peuvent être utilisées.

Le processus de dépôt en phase vapeur comprend l'emploi d'un évaporateur du type dans lequel la nacelle qui contient la matière à vaporiser et le support qui porte la structure du substrat peuvent être maintenus séparément à des températures différentes dans une atmosphère réglable. Ces appareils se trouvent facilement dans le commerce.

On place d'abord du sulfure de cadmium pulvérisé dans la nacelle de l'évaporateur et on le chauffe à la température du rouge sombre pendant quelques minutes, sous vide. Cette étape est simplement accomplie par précaution et permet à la matière étrangère de s'évacuer sous forme gazeuse du sulfure de cadmium. La ligne 15, sur laquelle la couche d'or 10 a déjà été formée se place dans l'évaporateur avec la couche 10 à quelques centimètres de la nacelle qui contient le sulfure de cadmium et on la dispose de façon que la couche 10 qui constitue le substrat sur lequel se déposera la pellicule produite en phase vapeur soit normale à la direction de la nacelle. On vide d'air l'évaporateur, considérant qu'une pression allant de  $2 \times 10^{-6}$  à  $6 \times 10^{-6}$  mm de mercure est satisfaisante. On chauffe ensuite le substrat à une température assez élevée pour chasser les matières étrangères et autres produits de contamination. On chauffe alors le sulfure de cadmium à une température qui en provoque la vaporisation. Une température de l'ordre de 750 à 900°C s'est montrée satisfaisante bien que cette température ne soit pas critique. Le substrat (couche 10) est amené simultanément à une température assez élevée pour que la matière déposée se forme sur lui dans un état cristallin. Une température d'au moins 180°C et de préférence de l'ordre de 200 à 230 °C s'est montrée satisfaisante, bien que des températures de substrat supérieures à ces valeurs produisent des résultats acceptables pour autant qu'elles soient suffisamment inférieures à la température de vaporisation de la matière à déposer, pour

empêcher une nouvelle vaporisation indésirable. Des températures très inférieures à  $180^{\circ}\text{C}$  font que la matière déposée se forme à l'état amorphe et désordonné. En général, on a trouvé que les températures de la substance à vaporiser et du substrat doivent être en relation telle que la couche déposée se forme à une vitesse inférieure à un micron par minute. Des vitesses beaucoup plus grandes que celle-ci tendent à produire des structures cristallines beaucoup moins parfaites. La durée totale du processus dépend de l'épaisseur désirée pour la couche 11, laquelle dépend à son tour de la fréquence de fonctionnement que l'on envisage.

Lorsque l'on a constitué une couche appropriée, on élève la température des couches 10 et 11 à une valeur sensiblement supérieure à celle qui a été maintenue pendant le dépôt en phase vapeur et on conserve la couche dans une atmosphère inerte pendant un temps choisi suivant les principes de compensation connus des porteurs de courant, pour augmenter la résistivité de la couche 11 en la portant à au moins  $10^6$  ohms/cm. Une température d'environ  $450^{\circ}\text{C}$  pendant une durée d'environ un quart d'heure sont des conditions satisfaisantes. En variante, des atomes compensateurs de porteurs de courant, d'argent, d'or ou de cuivre peuvent être déposés en même temps que la matière semi-conductrice déposée pendant le processus de dépôt en phase vapeur, et dans ce cas, la durée de l'opération et la température nécessaires pour arriver à la résistivité convenable se trouvent réduites ou éliminées.

On achève le transducteur en ajoutant une seconde couche conductrice 12 sur la surface de la couche 11 et en attachant de façon convenable les conducteurs aux deux couches 10 et 11.

Si au lieu d'or comme matière constitutive du substrat 10 on utilise le cuivre, on a trouvé que le traitement thermique

après dépôt en phase vapeur fait que l'orientation des axes piézoélectriques des cristaux s'incline par rapport à la normale de quantités dépendant de l'intensité du traitement thermique et que l'on produit une composante en mode de cisaillement sensible en même temps qu'une composante sensible dans le mode longitudinal. La présence des deux modes est utile dans une application dans laquelle on désire produire deux signaux à des instants écartés de façon précise après l'arrivée d'un signal d'entrée. Ainsi, le signal d'entrée provenant de la source 13 détermine des modes à la fois longitudinal et de cisaillement vers l'extrémité de sortie de la ligne à retard, avec des vitesses caractéristiques différentes pour arriver à la sortie à des instants différents.

Si l'on désirait accentuer l'un ou l'autre de ces modes, on devrait tenir compte des considérations suivantes. Il semble que l'angle d'inclinaison dépende de l'importance du traitement thermique subséquent. Par conséquent, pour un angle plus petit et une composante dans le mode longitudinal plus grande, il est préférable d'utiliser des températures moins élevées et des temps plus courts. Pour avoir des composantes d'ondes de cisaillement plus grandes, il convient d'utiliser des températures plus élevées et des temps plus longs. En plus, un placage superficiel de cuivre en tant qu'électrode 12, additionné à un substrat de cuivre 10, appliqués tous deux avant un traitement subséquent à la chaleur, augmentent la rotation de l'axe.

Pour produire une composante d'onde de cisaillement plus grande encore, on peut utiliser la modification montrée à la figure 1B. A la figure 1B, les chiffres de référence correspondant à ceux de la figure 1A ont été utilisés pour désigner les éléments correspondants. On verra que la modification



consiste dans la manière dont la couche de substrat 18 (correspondant à 10 de la figure 1A) est formée de préférence à partir d'argent et en ce que la couche 19 représentant la couche piézo-électrique semi-conductrice est déposée à partir d'une source de matière vaporisée située à distance du substrat 18 dans une direction représentée par la flèche 17 qui fait un angle aigu avec le substrat. La technique de dépôt en phase vapeur décrite ci-dessus pour la figure 1A peut être suivie sensiblement, sauf qu'il s'est avéré souhaitable d'utiliser une température de substrat moindre, de l'ordre de 170-200°C.

Bien que l'on ne désire pas limiter la portée de la présente invention par la théorie présentée maintenant, cette théorie est exacte, croit-on, et cohérente avec l'effet observable et des principes scientifiques acceptés. Il apparaît ainsi que lorsque l'on dépose du sulfure de cadmium vaporisé sur le substrat chauffé, la première matière déposée se présente sous forme de cristaux orientés au hasard, et de petite dimension. Lorsque l'on dépose davantage de matière, les cristaux qui ont leurs "axes hexagonaux" ainsi alignés avec la direction d'arrivée de la nouvelle matière tendent à se recristalliser et à croître. Si cette direction est sensiblement normale à la surface du substrat, comme représenté à la figure 1A, la majorité des cristaux qui se développent pour atteindre des dimensions modérées ont leurs axes perpendiculaires à cette surface. Si, cependant, cette direction forme un angle aigu avec le substrat, comme représenté à la figure 1B, les cristaux tendent à se développer suivant des angles aigus. On a déterminé expérimentalement que les cristaux tendent à croître plus rapidement dans une direction normale sur un substrat d'or et plus rapidement suivant un angle sur un substrat d'argent. Une explication possible de cette différence réside dans la mobilité superficielle petite que présente le sulfure de cadmium sur



l'argent avec lequel il présente un lien chimique solide et dans la grande mobilité superficielle correspondante à l'or, avec lequel se forme un lien chimique plus faible. Au contraire, lorsque le substrat est de cuivre, le traitement thermique subséquent, tend à incliner les axes de la majorité des cristaux en les écartant de leur orientation initiale dans une mesure beaucoup plus grande qu'avec l'argent ou l'or. Ce phénomène a été reconnu dans la technique et on l'a appelé l'effet Cakenberghe, mais les raisons qui le produisent n'ont pas été expliquées complètement jusqu'à présent. Par conséquent, on préfère le substrat d'or 10 pour la forme de réalisation à onde longitudinale de la figure 1A, le substrat de cuivre pour une forme de réalisation à modes mélangés et un substrat d'argent pour la forme de réalisation à onde de cisaillement de la figure 1B.

Quel que soit le substrat, la couche formée est d'abord d'une résistivité trop faible pour entretenir un champ piézo-électrique satisfaisant. Suivant une première variante, la résistivité est augmentée sans addition préalable de matière compensatrice par le traitement thermique subséquent. On croit que cette augmentation de la résistivité provient à la fois d'une diffusion dans la matière, d'atomes compensateurs provenant du substrat et/ou d'atomes d'oxygène provenant de l'atmosphère ambiante, qui tendent à emprisonner, compenser ou neutraliser autrement les porteurs de courant qui proviennent d'un excès de cadmium dans la matière déposée. Pendant ce traitement thermique, les axes de la majorité des cristaux peuvent être quelque peu inclinés par rapport à la perpendiculaire comme décrit ci-dessus.

En variante, la résistivité de la couche peut être augmentée par dépôt en phase vapeur des atomes compensateurs en même temps que de la matière semi-conductrice ou en appliquant

la couche superficielle 12 de matière compensatrice avant le traitement thermique subséquent pour fournir une source d'atomes compensateurs. En variante, ou en combinaison avec cette compensation, on peut augmenter la résistivité de la couche en lui donnant une composition plus proche de la composition stoechiométrique. Par exemple, dans le cas spécifique du sulfure de cadmium, où la faible résistivité de la couche déposée en phase vapeur semble résulter d'un excès de cadmium qui fournit les porteurs de courant, on peut éliminer ceux-ci en chauffant la couche dans le vide pour chasser l'excès de cadmium ou dans l'air ou dans la vapeur de soufre pour remplir les vides du soufre.

Quel que soit le procédé utilisé pour rendre plus résistante la couche piézoélectrique, l'axe piézoélectrique n'est jamais aligné de façon complètement correcte. Ainsi, lorsqu'un signal provenant de la source 13 est appliqué entre les électrodes 10 et 12, il apparaît une onde de cisaillement ou une onde ayant des composantes de vibration transversales produite par la composante normale à l'axe 14, et il apparaît une onde ayant des composantes de vibration longitudinales, produite par la composante parallèle à l'axe 14.

Une discrimination entre les modes peut être obtenue sur la base de la fréquence. Pour un transducteur donné, il y a un domaine de fonctionnement à fréquence central dans lequel les modes longitudinal et de cisaillement sont produits tous deux avec un rendement sensiblement égal. A des fréquences supérieures à ce dernier domaine, le rendement du mode longitudinal s'améliore nettement, tandis que le rendement du mode de cisaillement diminue. Inversement, à des fréquences inférieures à ce domaine, le rendement du mode de cisaillement augmente et celui du mode longitudinal diminue.

Dans le cas où l'on désirerait une séparation plus complète des modes, la combinaison à filtre de mode que l'on décrira maintenant à propos des formes de réalisation des figures 2 et 3 peut être utilisée. Dans les deux formes de réalisation, on fait usage des propriétés de propagation sélectives en mode d'une matière anisotropique, c'est-à-dire d'une matière dans laquelle les modules élastiques changent avec l'orientation par rapport aux axes du cristal. Dans ces matières, il y a des directions limitées dans lesquelles l'onde longitudinale pure ou une onde de cisaillement pure peuvent se propager. Dans d'autres directions, des ondes quasi longitudinales ou des ondes quasi transversales se propagent dans des directions qui font des angles avec les surfaces principales du cristal. Bien que l'on puisse donner plusieurs exemples avec des matières comprenant des cristaux trigonaux, cubiques et hexagonaux, un exemple simple pour chaque mode, à partir de quartz, c'est-à-dire d'un cristal trigonal, servira à illustrer l'invention. Pour une discussion concernant le grand nombre de coupes, ayant des orientations différentes par rapport aux axes du cristal de quartz, en même temps que pour une description détaillée de la désignation habituelle de ces coupes, on pourrait se reporter à l'un ou l'autre des ouvrages de W.P. Mason, intitulé "Electromechanical Transducers and Wave Filters" ou "Piezoelectric Crystals and their Application to Ultrasonics", ou à l'ouvrage de R.A. Heising intitulé "Quartz Crystals for Electrical Circuits" ; tous ces ouvrages ayant été publiés par D. Van Nostrand Company, Inc., à New York.

En se reportant plus particulièrement à la figure 2, le transducteur qui comprend les couches 10, 11 et 12 est formé suivant le processus décrit jusqu'à présent sur la barre 20 découpée à partir d'un cristal unique de quartz et sur une

face de celui-ci, qui est normale à l'axe Z ou axe optique du cristal, comme le représente la flèche 21. Un tel élément est dit une barre de coupe Z. La barre 20 peut constituer la ligne à retard tout entière ou elle peut être intercalée entre le transducteur 10-11-12 et une ligne à retard 22.

Les ondes ayant une direction de propagation et un mouvement de particules dans la direction Z, c'est-à-dire des ondes longitudinales (LW) comme défini ci-dessus, ont un vecteur de flux d'énergie maximal suivant l'axe Z. Ces ondes émergent par conséquent de l'élément 20 avec peu de pertes et pénètrent dans la ligne à retard 22. Cependant, des ondes qui ont un mouvement de particules normal à l'axe Z, c'est-à-dire des ondes transversales ou de cisaillement (TW), ont un vecteur de flux d'énergie maximal faisant un angle de sensiblement  $16^\circ$  par rapport à l'axe Z en sorte que le vecteur décrive un cône lorsqu'il tourne autour de l'axe Z. Le terme de réfraction conique interne a été appliqué à cet état de choses. Ainsi, de l'énergie d'onde non longitudinale provenant de la face du transducteur est dirigée sous forme "d'ondes quasi transversales" (QTW) suivant des trajets indiqués généralement par les régions ombrées 23 et 24, pour tomber sur les limites latérales du tronçon de cristal 20. Ces limites sont rendues propres à dissiper de l'énergie, soit en en rendant la surface rugueuse pour diffuser l'énergie d'onde, soit en chargeant cette surface de matière absorbant les ondes acoustiques, comme représenté à la figure 2 par 25, ou des deux façons. On comprendra que des axes équivalant à l'axe Z auront des propriétés semblables.

A la figure 3, des ondes transversales ou de cisaillement (TW) passent à l'exclusion des ondes longitudinales dans une barre 30 de coupe BC du monocristal de quartz. Comme montré par le symbole vectoriel 33, l'axe BC est l'axe faisant un angle de



sensiblement 31 avec l'axe Z ou axe optique en allant vers l'axe Y ou axe mécanique, en tournant autour de l'axe X ou axe électrique (pénétrant dans le papier à la figure 3). Le transducteur 10-11-12 est situé sur la face du cristal normale à l'axe BC et la surface 32 parallèle à l'axe est rendue dissipatrice, comme à la figure 2. Des modes transversaux ou de cisaillement se propagent sans interférence parallèlement à l'axe BC vers la ligne à retard reliée 22. Cependant, des ondes ayant un mouvement de particules longitudinal ont un vecteur de flux d'énergie maximal faisant un angle de sensiblement  $5^\circ$  avec l'axe BC en allant vers l'axe Z. Ainsi, l'énergie non transversale provenant de la face du transducteur est dirigée sous forme "d'onde quasi longitudinale" (QLW) suivant des trajets indiqués généralement par la région ombrée 34 pour tomber sur la limite latérale du tronçon 30 que traverse l'axe Z et cette énergie est dissipée en cet endroit soit par diffusion, soit par absorption par la surface 32. On comprendra naturellement que des barres coupées suivant des axes équivalents, telles que des barres de coupe AC, auront des propriétés semblables à la barre de coupe BC.



### REVENDICATIONS.-

1.- Procédé pour la fabrication d'un transducteur ultrasonique sous forme d'une couche de matière piézoélectrique semi-conductrice sur un substrat, caractérisé en ce que l'on choisit ce substrat dans le groupe comprenant le cuivre, l'or et l'argent et en ce que l'on dépose la matière piézoélectrique en phase vapeur sur le substrat alors que ce substrat est maintenu pendant le dépôt en phase vapeur à une première température assez élevée pour que la matière de la couche se cristallise sur le substrat, et inférieure à la température de vaporisation de la matière déposée, et caractérisé en outre en ce que l'on augmente la résistivité de la couche en introduisant dans celle-ci une matière qui compense les porteurs de courant dans la matière de la couche.

2.- Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la matière piézoélectrique est un composé des groupes II-VI ayant des propriétés piézoélectriques.

3.- Procédé suivant la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la matière piézoélectrique est du sulfure de cadmium.

4.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 - 3, caractérisé en ce que l'on chauffe le substrat, avant de déposer la couche sur ce substrat, à une température suffisante et pendant un temps suffisant pour chasser les contaminants et autres matières étrangères.

5.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 - 4, caractérisé en ce que l'on règle la vitesse de dépôt à un micron par minute.

6.- Procédé suivant une quelconque des revendications 1 - 5, caractérisé en ce que l'on introduit la matière compensatrice en déposant en phase vapeur cette matière compensatrice en même temps que la matière de la couche.

7.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 - 5, caractérisé en ce que l'on introduit la matière compensatrice en continuant à chauffer la couche et le substrat à une température sensiblement supérieure à la première température jusqu'à ce que la matière provenant du substrat diffuse dans la couche pour compenser les porteurs de courant de la matière de la couche.

8.- Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que l'on élève la température à environ 400°C pendant une période suffisante pour porter la résistance de la couche à au moins  $10^6$  ohm/cm, par exemple pendant 15 minutes.

9.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 - 8, caractérisé en ce que l'on forme le substrat d'or, et en ce que l'on dépose en phase vapeur le composé sur le substrat, dans une direction sensiblement normale au substrat.

10.- Procédé suivant une quelconque des revendications 1 - 8, Caractérisé en ce que l'on forme le substrat d'argent, et en ce que l'on dépose en phase vapeur le composé sur le substrat, dans une direction faisant un angle aigu avec le substrat.

11.- Procédé suivant une quelconque des revendications 1 - 8, caractérisé en ce que l'on forme le substrat de cuivre et en ce que la matière piézoélectrique est du sulfure de cadmium, ce substrat étant maintenu pendant le dépôt en phase vapeur à une température d'au moins 180°C, la couche déposée et le substrat étant chauffés alors à une température de 250°C jusqu'à ce que le cuivre provenant du substrat diffuse dans la couche pour compenser les porteurs de courant dans le sulfure de cadmium.

12.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications

1 - 11, caractérisé en ce que l'on forme une couche superficielle sur la couche et en ce que l'on traite la couche superficielle suivant l'un quelconque des revendications précédentes 1-11.

654914

pour compenser les porteurs de courant dans la matière de la couche.

13.- Transducteur piézoélectrique pour produire un mode désiré de vibrations ultrasoniques, comprenant une première et une seconde électrodes, une couche de matière piézoélectrique de grande résistivité placée entre les électrodes, et des moyens pour imposer un champ électrique alternatif à la couche, caractérisé en ce que la couche piézoélectrique est produite par le procédé suivant l'une quelconque des revendications 1-12.

14.- Transducteur piézoélectrique suivant la revendication 13, caractérisé en ce que l'axe piézoélectrique de la couche de matière piézoélectrique de grande résistivité fait un angle aigu avec le plan de la couche, le dispositif qui impose le champ électrique alternatif le faisant dans une direction normale à ce plan et en ce qu'un milieu ayant un axe anisotropique est associé à la couche pour recevoir les vibrations ultrasoniques provenant de la couche, l'axe d'anisotropie étant dirigé de façon à permettre la propagation dans le mode désiré dans une direction normale à la couche.

15.- Transducteur piézoélectrique suivant la revendication 14, caractérisé en ce que le milieu est constitué d'une barre de quartz de coupe BC, l'axe BC de la barre s'étendant dans une direction normale à la couche.

16.- Transducteur piézoélectrique suivant la revendication 14, caractérisé en ce que le milieu est une barre de quartz de coupe Z, l'axe optique de cette barre s'étendant dans une direction normale à la couche.

BRUXELLES, le 27 octobre 1964  
P. Westin, Directeur

654914

Fig. 1 is a schematic diagram of a device for measuring the temperature of a material. It shows a cross-section of a material 20 with a central hole 21. A probe 23 is inserted into the hole, with its tip 24 at a distance 25 from the hole's edge. A thermocouple 10 is attached to the probe, with its leads 11 and 12 connected to a power source 13. The probe is angled at 15° relative to the hole's axis.

P. 100 Western Electric  
Company Incorporated

**P. P<sup>re</sup> A. VANDER HALGHEN**